

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000077425 A**(43) Date of publication of application: **14 . 03 . 00**

(51) Int. Cl.
H01L 21/331
H01L 29/73
H01L 29/165

(21) Application number: **10249358**(22) Date of filing: **03 . 09 . 98**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor:
KANZAWA YOSHIHIKO
KATAYAMA KOJI
NOZAWA KATSUYA
SAITO TORU
KUBO MINORU

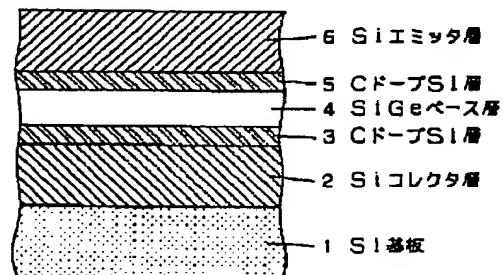
(54) **BIPOLAR TRANSISTOR**

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a bipolar transistor wherein the device characteristics of the transistor are not deteriorated, while impurity diffusion in the layers in the transistor is inhibited, and moreover by the generation of damage to the transistor due to an ion implantation into the layers or the like.

SOLUTION: In this bipolar transistor of a structure having an Si collector layer 2 having a first conductive type, an SiGe base layer 4 having a second conductive type and an Si emitter layer 6 having a first conductivity type, C-doped Si layers 3 and 5, which work as an impurity diffusion inhibiting layer containing electrically inactive impurities which are called carbon, are respectively formed between the layers 2 and 4 and between the layers 4 and 6, whereby the generation of an impurity diffusion, which is generated in the layers 2, 4 and 6 at the time of a heat treatment of the transistor, is inhibited.



(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L	21/331	H O 1 L	29/72
	29/73		29/165
	29/165		5F003

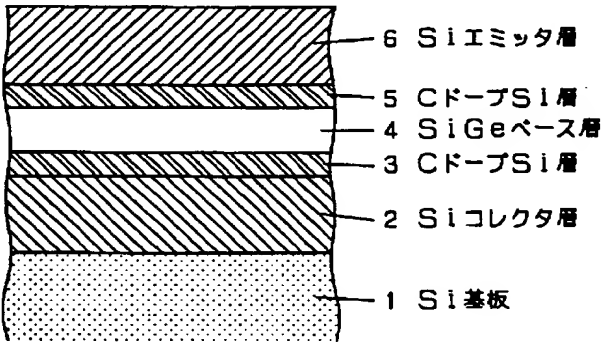
審査請求 未請求 請求項の数 5		O L (全 6 頁)	
(21) 出願番号	特願平10-249358	(71) 出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22) 出願日	平成10年9月3日 (1998. 9. 3)	(72) 発明者	神澤 好彦 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
		(72) 発明者	片山 幸治 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
		(74) 代理人	100097445 弁理士 岩橋 文雄 (外2名)
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 バイポーラトランジスタ

(57) 【要約】

【課題】 不純物拡散を抑制しつつ、しかもイオン注入に基づくダメージの発生などによりデバイス特性が劣化しないバイポーラトランジスタを提供することを目的とする。

【解決手段】 第1の伝導型を有するSiコレクタ層2と、第2の伝導型を有するSiGeベース層4と、第1の伝導型を有するSiエミッタ層6とを有する構造のバイポーラトランジスタに対して、Siコレクタ層2とSiGeベース層4との間及びSiGeベース層4とSiエミッタ層6の間に炭素という電氣的に不活性な不純物を含有する不純物拡散抑制層となるCドープSi層2及び5を形成することにより、熱処理などの際に発生する不純物の拡散を抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層と、前記コレクタ層と前記ベースとの間及び前記ベース層と前記エミッタ層の間に形成された電氣的に不活性な不純物を含有する不純物拡散抑制層とを有するバイポーラトランジスタ。

【請求項2】 第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層とを有し、前記ベース層中の前記エミッタ層及び前記コレクタ層と接する領域の一部に電氣的に不活性な不純物がドーピングされた不純物拡散抑制層が形成されていることを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項3】 第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層とを有し、前記エミッタ層及び前記コレクタ層内部の少なくとも前記ベース層と接する側の領域に電氣的に不活性な不純物がドーピングされた不純物拡散抑制層が形成されていることを特徴とするバイポーラトランジスタ。

【請求項4】 電氣的に不活性な不純物が炭素であることを特徴とする請求項1～3いずれかに記載のバイポーラトランジスタ。

【請求項5】 不純物拡散抑制層が、化学気相堆積、分子線エビタキシー、反応性スパッタリングからなる群から選択されるいずれかの結晶成長法により形成されていることを特徴する請求項1～3いずれかに記載のバイポーラトランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、バイポーラトランジスタに関する。

【0002】

【従来の技術】バイポーラトランジスタは、npn型の構造を持つ物の場合、n型不純物を含むコレクタ層、p型不純物を含むベース層、n型不純物を含むエミッタ層から構成されている。高性能のバイポーラトランジスタを得るためには、これを構成する上記の各層の不純物プロファイル可能な限りコントロールし、急峻にする必要がある。逆に言えば、何らかの要因によって不純物プロファイルが、当初の設計からずれてしまった場合、デバイス特性は低下する。特に、ベース領域の不純物が、コレクタやエミッタ側に拡散してしまった場合、キャリアが感じるベース層の厚み（実効的なベース長）が増加し、高速動作特性や、遮断周波数特性が悪くなる。

【0003】上記のような不純物プロファイルのくずれは、主として結晶成長中の熱拡散によって引き起こされる。通常、バイポーラトランジスタの製造に当たっては、イオン注入を中心としたドーピング技術を駆使して、コレクタ層、ベース層、エミッタ層を順にして形成

してゆく。ところが、このようなイオン注入によるドーピング技術では、不純物原子を注入後、不純物を活性化させるために熱処理を行う必要がある。この熱処理工程において、不純物原子が活性化すると同時に、不純物原子が本来存在すべきはずの層の外に拡散してしまう事がある。これが熱拡散による不純物プロファイルのくずれである。また、イオン注入を用いず、エビタキシャル成長のみによってコレクタ層、ベース層、エミッタ層を形成してゆく場合にも、エビタキシャル成長時の基板の加熱によって各層の不純物プロファイルが崩れてしまう。さらに、この様な方法でトランジスタを作製した場合、オートドーピングと呼ばれる現象が問題となる。オートドーピングとは、比較的高濃度にドーピングされた下地の半導体層の上にエビタキシャル層を形成する時に、基板の加熱によって下地の半導体層中の不純物が一旦雰囲気ガス中に飛び出し、再び成長中の層に取り込まれるという現象をさす。ベースのp型不純物として最もよく用いられるホウ素（B）の場合、上記の熱拡散やオートドーピングを起こし易いことが知られおり、高性能トランジスタを製造するためには、上記の原因による不純物プロファイルのくずれを抑制することが不可欠である。

【0004】そこで従来では、主として以下のような方法によって不純物プロファイルのくずれの抑制を図ろうとする試みが考えられている。

【0005】第1番目は、熱処理によって拡散しにくい、つまり拡散係数の小さい元素を不純物として選ぶ方法である。

【0006】第2番目は、エビタキシャル成長時の不純物原子の拡散を最小限におさえるために、できるだけ低温でエビタキシャル成長を行う方法である。

【0007】第3番目は、もっと積極的に不純物の拡散を抑制するために、電氣的に不活性で拡散抑制効果のある窒素（N）原子をp型半導体層（主にはBがドーピングされている）ベース領域全域にドーピングする方法である（特開平8-78674号公報）。

【0008】第4番目は、SiGeをベース層に用いたヘテロバイポーラトランジスタにおいて、ベース層全域にBとともにCをドーピングすることでB原子の拡散を抑制する方法である（L. D. Lanzarotti et al, Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet., 249 (1996)）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の第1番目の方法の場合、バイポーラトランジスタの製造に使用できる不純物は限られており、特に、p型不純物としては、拡散係数の比較的大きなBを使用せざるを得ない状況にある。また、上記の第2番目の方法だけでは、充分に不純物拡散を抑制する事は不可能であり、低温のエビタキシャル成長では半導体層の成長に時間がか

かってしまう。さらに、上記の第3番目の方法では、Nを効率的にドーピングする方法はイオン注入しかなく、この方法では限られた領域にコントロールしてドーピングするのが難しく、N濃度も高いため注入によるダメージも大きくなってしまい、高性能デバイスを作製するのが困難である。また、上記の第4番目の方法では、CやN原子を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ もの高濃度でベース層にドーピングするため、ベース層の結晶性が劣化したり、キャリアがベース層を走行中にこれらの不純物によって散乱され、キャリア寿命が短くなる等の現象が発生し、デバイス特性が悪化してしまう。

【0010】以上の様に従来の方法では、不純物拡散抑制とデバイス特性の性能向上を同時に達成する事は非常に困難である。そこで本発明は、不純物拡散を抑制しつつ、しかもイオン注入に基づくダメージの発生などによりデバイス特性が劣化しないバイポーラトランジスタを提供することを主たる目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明のバイポーラトランジスタは、高濃度にドーピングされたバイポーラトランジスタのベース層を、拡散抑制効果のある電氣的に不活性な不純物、例えばCをドーピングされた薄い半導体層で挟む構成となっており、この構成により、ベース領域の結晶性の劣化をもたらすことなく、ベース層からの不純物の拡散を抑制することが可能となる。

【0012】ただし、Cをドーピングした不純物拡散抑制層は、ベース層やコレクタ層やエミッタ層とは独立して形成してもよく、ベース層やコレクタ層やエミッタ層の内部に形成してやってもよい。

【0013】従って、具体的には、本発明のうちの第1の発明のバイポーラトランジスタは、第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層と、前記コレクタ層と前記ベースとの間及び前記ベース層と前記エミッタ層の間に形成された電氣的に不活性な不純物を含有する不純物拡散抑制層とを有する構成となっている。

【0014】また本発明のうちの第2の発明のバイポーラトランジスタは、第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層とを有し、前記ベース層中の前記エミッタ層及び前記コレクタ層と接する領域の一部に電氣的に不活性な不純物がドーピングされた不純物拡散抑制層が形成されていることを特徴とする構成となっている。

【0015】さらに本発明のうちの第3の発明のバイポーラトランジスタは、第1の伝導型を有するコレクタ層と、第2の伝導型を有するベース層と、第1の伝導型を有するエミッタ層とを有し、前記エミッタ層及び前記コレクタ層内部の少なくとも前記ベース層と接する側の領域に電氣的に不活性な不純物がドーピングされた不純物

拡散抑制層が形成されていることを特徴とする構成となっている。

【0016】上記の構成において、電氣的に不活性な不純物としては、炭素やフッ素などを挙げることができるが、エピタキシャル成長する際に結晶中に取り込みやすい炭素を用いることが好ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態におけるバイポーラトランジスタについて図面を参照しながら説明する。

【0018】（実施の形態1）まず図1に本発明の実施の形態1における半導体装置（npn型SiGeヘテロバイポーラトランジスタ）の主要部の構造を示す断面図を示す。なお、上記のようにnpn型SiGeヘテロバイポーラトランジスタを例に挙げて説明を行うのは、不純物の拡散を防止しつつ、不純物添加された層をエピタキシャル成長により薄く形成することが望まれるデバイスであるからである。但し、本発明がヘテロバイポーラトランジスタ以外の一般的なバイポーラトランジスタにも適用できることは言うまでもない。

【0019】次に以下では本実施の形態におけるバイポーラトランジスタの製造方法について順を追って説明する。

【0020】まず、エピタキシャル成長を行うSi基板1の前処理について説明する。Si基板1はまず、硫酸-過酸化水素水混合溶液やアンモニア-過酸化水素水混合溶液にて洗浄を行い、ウエハー上の付着物を除去する。さらに、フッ酸溶液を用いてSi基板1表面の自然酸化膜を取り去る。

【0021】以上の様にして前処理したSi基板1を、例えば、超高真空化学気相成長法（UHV-CVD法）によるエピタキシャル装置内に投入する。そして、一旦、装置内を $1 \times 10^{-9} \text{ Torr}$ 以下の真空にした後、水素ガス雰囲気中で $800^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ の温度に基板を加熱し、清浄Si基板1表面を露出させる。

【0022】次にSi基板1上にエピタキシャル層を成長させるわけであるが、いずれのエピタキシャル層も、基板を 500°C から 700°C 程度に加熱した状態で行う。また、望ましくは、原料ガスは装置内で 1×10^{-3} ないし $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の圧力になるように調整して導入する。

【0023】まず最初に、Si基板1の上にSiコレクタ層2を数百nm程度の厚さで成長させる。このときコレクタ層には $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度のn型不純物であるリン（P）をドーピングする。このため、原料ガスとしては、Siの原料となるジシラン（ Si_2H_6 ）ガスと、不純物の原料となるホスフィン（ PH_3 ）ガスを同時に装置内に導入し、コレクタ層2の成長が終わった段階で、原料ガスの導入をやめる。なお、不純物であるPの濃度は、 Si_2H_6 ガスと PH_3 ガスの装置内での分圧

を変えることに制御可能である。上述のようにしてSiコレクタ層2を形成した後、 Si_2H_6 ガスと、Cの原料であるメチルシラン(SiH_3CH_3)を装置内に導入し、不純物拡散抑制のためのCをドーピングしたSi層3(不純物拡散抑制層)を、20nmないし30nm程度エピタキシャル成長させる。このエピタキシャル層3中でのCの濃度は、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度になるように、 Si_2H_6 ガスと SiH_3CH_3 ガスの分圧を調整する。このようなCの濃度にした理由は下記の通りである。すなわち、Cの濃度が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ を下回ると、不純物(この場合はP)の拡散を十分に抑制する効果が少なくなってしまう、逆にCの濃度が $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ を上回ると、Cの導入に基づいて不純物拡散抑制層自体をエピタキシャル成長させる時に欠陥が発生してしまい、結晶性の良好な層をエピタキシャル成長できないからである。

【0024】この後、エピタキシャル成長されたCドーブSi層3の上に、ベース層4を形成する。ベース層は、Geが10%から30%程度含まれているSiGe混晶からなっており、p型不純物のBが $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度ドーピングされている。ベース層4形成時には、原料ガスとして、 Si_2H_6 、モノゲルマン(GeH_4)さらにジボラン(B_2H_6)を同時に装置内に導入する。次にベース層4の上に、エピタキシャル成長されたCドーブSi層3と同様の方法でCがドーピングされたSi層5を形成する。最後に、エピタキシャル成長されたCドーブSi層5の上に、 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 程度の濃度のPをドーピングしたSiエミッタ層6を形成する。原料ガスは、Siコレクタ層の成長時に用いた物と同様の Si_2H_6 と PH_3 ガスである。

【0025】以上のようにして形成された本実施の形態におけるバイポーラトランジスタによれば、ベース中のBが、コレクタやエミッタ層に拡散するのを抑制できるだけでなく、コレクタ及びエミッタ層中にドーピングされているP原子がベースへ拡散するのを抑制するような効果が期待できる。また、エミッタ層をエピタキシャル成長させている間のB原子のオートドーピングも同時に抑制することができる。

【0026】なお、上記実施例では、トランジスタの各層のドーピングを全てUHV-CVD法で作製したが、各層のドーピングをイオン注入法で行ってもよい。この場合でも、拡散抑制のための半導体層3及び5があるため、不純物原子の拡散は抑制できる。

【0027】また、上記の例では、ベース層4を形成する際に Si_2H_6 、 GeH_4 及び B_2H_6 を原料ガスとして用いたが、このベース層形成の初期と終期に上記の原料ガスに更に SiH_3CH_3 を加えてやれば、ベース層のコレクタ層及びエミッタ層と接する領域の一部を不純物拡散抑制領域として用いることも可能であり、この場合には上記のCドーブSi層3及び5を形成しなくてもよい

ことになる。

【0028】(実施の形態2)次に図2に本発明の実施の形態2におけるnpn型SiGeヘテロバイポーラトランジスタの主要部の構造を示す断面図を示す。本実施の形態が上記の実施の形態1と異なるのは、拡散抑制のためのCがドーブされたSi層が、それぞれコレクタ、エミッタ内部に形成されている点である。

【0029】次に以下では本実施の形態におけるバイポーラトランジスタの製造方法について順を追って説明する。

【0030】まず、上記の実施の形態1と同様の手順でSi基板7の洗浄等を行い、エピタキシャル成長を行う装置内で清浄表面を露出させる。本実施の形態においても、清浄Si基板表面上に各エピタキシャル層を基板を500℃から700℃程度に加熱した状態で成長させ、成長中の原料ガスの圧力は、 1×10^{-3} ないし 1×10^{-2} Torrとする。

【0031】まず、 Si_2H_6 ガスと PH_3 ガスを装置内に導入し、Pだけが $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度ドーピングされたSiコレクタ層8を形成する。次にコレクタ層8の成長終了前に、 Si_2H_6 ガスと PH_3 ガスに加えて、 SiH_3CH_3 ガスを導入し、CとPがドーピングされたSi層9を20nmないし30nm程度形成する。この時も上記の実施の形態1の際と同様な理由により、C原子の濃度は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度になるように、 SiH_3CH_3 ガスの圧力を調整する。以上の工程により、コレクタ層内部のベース領域と接する側に不純物拡散抑制領域が形成されたことになる。

【0032】この上にベース層10として、Bを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度ドーピングされたSiGe混晶(Geが10%から30%程度含まれている)をエピタキシャル成長させる。次に装置内に、 Si_2H_6 、 PH_3 、 SiH_3CH_3 を入れ、CとPがドーピングされたSiエミッタ層11を成長させる。この時、C濃度は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、Pの濃度は $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ になるように各原料ガスの分圧を設定しておく。エピタキシャル層11が20nmないし30nm程度成長したところで、 SiH_3CH_3 ガスの装置への導入を取りやめ、Pだけが $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 程度ドーピングされたSiエミッタ層12を形成する。以上の工程により、エミッタ層内部のベース領域と接する側に不純物拡散抑制領域が形成されたことになる。

【0033】以上のようにして形成された本実施の形態におけるバイポーラトランジスタによれば、ベース中のBが、コレクタやエミッタ層に拡散するのを抑制できるだけでなく、コレクタ及びエミッタ層中にドーピングされているP原子がベースへ拡散するのを抑制するような効果が期待できる。また、エミッタ層とベース層中に拡散抑制層5もしくは11が形成されているため、エミッタ層をエピタキシャル成長させている間のB原子のオー

トドーピングも同時に抑制できる。

【0034】以上本発明の実施の形態について図面とともに説明を行ったが、上記の各実施の形態において、Siの原料となるガスとしては、上述以外に、モノシラン(SiH₄)、ジクロロシラン(SiH₂Cl₂)等のガスを用いることもでき、n型不純物のガスとしては、アルシン(AsH₃)を用いても良い。また、Cの原料ガスとしては、メタン、エチレン、アセチレンを用いることができる。

【0035】また、上記実施の形態では、npn型SiGeヘテロバイポーラトランジスタを例にとって説明したが、本発明による素子構造による不純物の拡散抑制効果は、ベースにSiを用いたSi-npn型及びpnp型バイポーラトランジスタに対しても適用できる。さらに、エピタキシャル成長させたSiやSiGeだけでなく、ポリシリコンやアモルファスシリコン層においても同様の効果が期待できる。つまり、不純物をドーピングしたポリシリコン層やアモルファスシリコン層を、Cがドーピングしたされた層で挟むことによって、有効に不純物の拡散を抑制することができるのである。

【0036】さらに、上記の図1に示した実施の形態1におけるバイポーラトランジスタによれば、不純物拡散抑制層には、P等の不純物が一切混入されていないため、不純物拡散を最も抑制することができる。

【0037】次に以下では上記の実施の形態に示したデバイス構造でB原子の拡散が抑制されるメカニズムについて簡単に説明する。まず最初にC原子とB原子を同一の場所にドーピングした場合のB原子の拡散抑制メカニズムを説明する。SiやSiGe中では、一旦、格子位置に入ったB原子は、外部から加えられた熱などのエネルギーによって格子間位置にあるSi原子(Si self-interstitial)と入れ替わる。この格子間位置に達したB原子は、次に格子位置にあるSiと入れ変わる。このような過程を繰り返してB原子は次々と結晶中を拡散してゆくのである。この過程から明らかのように、B原子が拡散するためには、まず、格子間位置にあるSi原子の存在が不可欠である。ところが、B原子とともにC原子をSiやSiGe中に同時にドーピングしてやると、C原子が格子間位置にあるSi原子と入れ替わってしまい(C原子が格子間位置Siを消費する)、格子間位置にあるSi原子の濃度が減少する。

【0038】すると、B原子は、入れ替わるべき格子間位置Siが存在しなくなるので拡散できなくなるのである。

【0039】次に上記実施の形態の素子構造、つまり、Bをドーピングした層をCをドーピングした層で挟んだ場合のBの拡散抑制メカニズムを説明する。この構造において、Bがコレクタ側やエミッタ側に拡散していく場合、B原子は、まずC原子がドーピングしてある領域を通過しなければならない。しかしながら、C原子がドーピングしてある領域には、B原子の拡散に必要な格子間位置Siの濃度が低くなっており、この領域を通り抜けて拡散していく確率は低くなる。つまり、B原子にとってC原子がドーピングしてある領域が一種の障壁のようになっており、拡散が起こりにくいのである。ベース層の内部でもB原子自体が動きにくい状態になっており、このような効果によっても不純物のベース領域からの外方拡散が抑制されているものと考えられる。

【0040】なお、本発明で提案した素子構造では、上記実施の形態のように均一に不純物をベースにドーピングした場合だけでなく、傾斜的にドーピングしたような不純物プロファイルを持つベース層においても、不純物プロファイルの崩れを抑制できる。

【0041】

【発明の効果】以上のように本発明のバイポーラトランジスタによれば、高濃度に不純物がドーピングされた半導体中の不純物拡散が抑制され、不純物プロファイルが急峻となる。これにより、目的としたデバイス特性を有する半導体装置を再現性よく製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

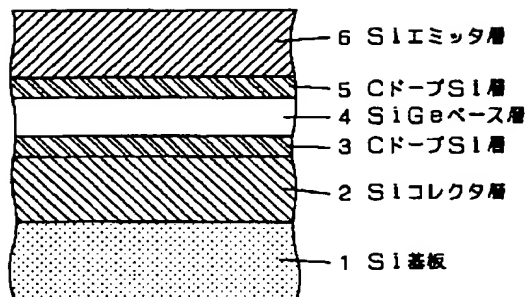
【図1】本発明の実施の形態1におけるバイポーラトランジスタの構造を示す断面図

【図2】本発明の実施の形態2におけるバイポーラトランジスタの構造を示す断面図

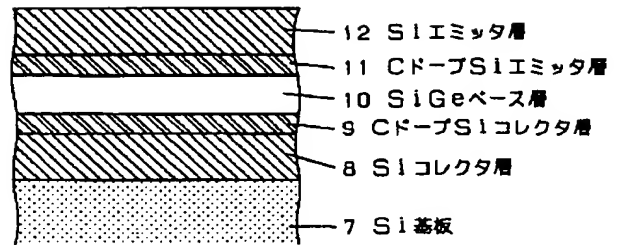
【符号の説明】

- 1 Si基板
- 2 Siコレクタ層
- 3 CドーブSi層(不純物拡散抑制層)
- 4 SiGeベース層
- 5 CドーブSi層(不純物拡散抑制層)
- 6 Siエミッタ層
- 7 Si基板
- 8 Siコレクタ層
- 9 CドーブSiコレクタ層(不純物拡散抑制層)
- 10 SiGeベース層
- 11 CドーブSiエミッタ層(不純物拡散抑制層)
- 12 Siエミッタ層

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 能澤 克弥
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 齋藤 徹
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 久保 実
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
Fターム(参考) 5F003 BF06 BG06 BM01 BP03 BP08
BP31